

PROPAGULES FONGIQUES DE L'AIR ET DISPERSION DE LA POLLUTION INDUSTRIELLE

REISINGER Otto (1) et BALÁZSY Sándor (2)
Réseau Européen d'Écologie Microbienne.

(1) Université de Nancy I, Faculté des Sciences, Unité d'Écologie Microbienne.
B.P. 239, 54 506 VANDOEUVRE LES NANCY, FRANCE
Fax : 33 (03) 83 27 09 59

E-Mail : reisinge@scbiol.u-nancy ; fr

(2) Bessenyei György Tanárképző Főiskola, Növénytani Tanszék, Sostoi út 31/B,
4400 NYIREGYHÁZA, HONGRIE

Fax : 36 (06) 42 312 116

E-Mail : balazsy@ny1.bgytf.hu

RÉSUMÉ : Les propagules végétales et microbiennes formées sur des sites pollués (métaux lourds, xénobiotiques, etc...) transportent également lors de leur dissémination des polluants dont elles sont sans doute chargées. Les résultats partiels rapportés ici, obtenus dans le cadre d'un vaste programme (*), apportent les premiers éléments de caractérisation de ce nouveau flux qui n'a pas encore fait l'objet d'étude cohérente. Ils concernent la composition qualitative et quantitative de la microflore fongique des zones contaminées ou non, le transfert des métaux du sol vers les propagules via la plante et l'efficacité de libération, par des microorganismes, du Ni des tissus végétaux. Les études ultrastructurales montrent que les PCB (polychlorobiphényles), produits très toxiques, ou des fractions importantes de cette substance se localisent dans la paroi et le cytoplasme microbiens. Ils peuvent donc être exportés hors du site et rien ne s'oppose à l'hypothèse de leur concentration dans des lieux plus ou moins éloignés et au sein d'organismes divers.

(*) Titre : Rôle de la microfaune, de la flore et de la microflore dans la gestion de la pollution industrielle.

MOTS CLÉS : Site pollué, microflore de l'air, métaux lourds, transport des polluants, bilan de transfert, efficacité de libération, PCB - localisation ultrastructurale.

SUMMARY : Plant and microbial propagules formed on polluted sites (heavy metals, xenobiotics...) also transport, during their dissemination, pollutants of which they are probably loaded. Partial results reported here, obtained within a large program (*) give the first elements of characterization of this new flux not yet been coherently studied. They concern : - qualitative and quantitative composition of fungal microflora of zones, contaminated or not contaminated, - transfer of metals from soil to propagules by the way of plants, - efficiency of liberation, by microorganisms, of Ni from plant tissues. Ultrastructural studies reveal that PCBs (polychlorobiphenyles), which are very toxic, or important fractions of these substances, become fixed in the microbial wall or in the cytoplasm. So they may be exported from the site and nothing can be opposed to the hypothesis of their concentration in more or less distant places, inside various organisms.

(*) Title : Role of microfauna, of flora and of microflora in management of industrial pollution.

KEY WORDS : Polluted site, air microflora, heavy metals, pollutant transport, transfer balance, liberation efficiency, ultrastructural localization of PCB.

INTRODUCTION

L'aptitude des plantes à concentrer certains métaux est connue depuis longtemps. Il en est de même pour des microorganismes dont la capacité de bioimmobilisation et/ou de bioaccumulation est exploitée, lors de la confection des biofiltres utilisés pour la purification des effluents et la réhabilitation des sites. La bibliographie, surabondante sur ce sujet, et les pratiques maintenant courantes oublient cependant qu'il existe une fraction de la flore et de la microflore, qui chargée de polluants par les mécanismes précités quitte le biotope grâce aux facteurs : Homme, faune, eau et air.

La réglementation permet de maîtriser l'effet de l'Homme et, en partie, celui des animaux. Un contrôle régulier des eaux de surface et des nappes phréatiques autorise en cas de besoin une intervention rapide et efficace.

Il n'en est pas de même pour la microfaune et pour l'air. Les propagules, *sensu lato*, exportées par voie aérienne ou par des animaux incontrôlables (Acariens, Collembolles, Abeilles, etc.) sont selon toute logique chargées sinon surchargées en polluants. De plus, on sait par ailleurs et depuis longtemps (Al Mahmood *et al.*, 1987 ; Bartnicki-Garcia, 1968 ; Bartnicki-Garcia & Lippman, 1982 ; Bonaly & Reisinger, 1971 ; Mbbawala *et al.*, 1990 ; Zaamoun *et al.*, 1995) que les conditions de culture, surtout la nature de la source trophique, changent les taux relatifs des composants de la paroi microbienne en modifiant la quantité et la qualité des protéines. Ainsi des nouvelles protéines, en situation périphérique, seront même en contact direct avec le milieu extérieur. Cette situation est peut-être comparable à celle analysée par Moneret-Vautrin (1997) pour les modifications des allergènes alimentaires.

Il est alors surprenant de noter qu'il n'existe aucune étude ou proposition cohérente pour l'évaluation quantitative et qualitative des polluants exportés et de l'impact que représente ce flux de propagules modifiées pour l'environnement et surtout pour l'environnement humain. Le but essentiel de ce travail est donc de présenter une première tentative d'évaluation des charges transportées par les propagules de l'air dans quelques situations choisies. Les résultats partiels, rapportés ici, ont été obtenus dans le cadre d'un vaste projet européen ayant pour but d'étudier le rôle de la flore, de la microfaune et de la microflore dans la gestion de la pollution industrielle. Ils concernent essentiellement les propagules fongiques libres (spores, fragments d'organes végétatifs, etc.). Le cas des propagules associées à des particules de nature diverse (grains de pollen, fragments végétaux, feuillets d'argiles, etc.) fera l'objet de travaux ultérieurs. Il ne sera qu'évoqué dans le cadre de cette étude.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériel fongique

Dans le cas des parasites obligatoires, le matériel fongique, les échantillons de terre, les jeunes plantules et les plantes en fin de végétation ont été directement prélevés dans un champ (en Meurthe et Moselle, France), proche de Badonviller.

Dans le cas des saprophytes, les souches, isolées de l'air en Lorraine, sont cultivées sur extrait de malt gélosé ou liquide additionné ou non de doses croissantes de métal.

Microflore de l'air

La microflore de l'air est étudiée par sédimentation à l'aide de la technique « boîtes de Pétri ouvertes » (fig. 2) ou en utilisant un aérocollecteur (Airstest). Cet appareil projette les propagules sur la surface d'un milieu gélosé contenu dans des boîtes de 6 cm de diamètre. Les deux méthodes ne permettent d'étudier que la fraction cultivable. Le dénombrement des propagules est donc basé sur le comptage des UFC (Unité Formant une Colonie).

Les colonies obtenues sont ensuite classées en 4 catégories et les microorganismes sont caractérisés et identifiés, jusqu'au genre dans le cas des champignons.

Études ultrastructurales

La localisation des PCB dans les cellules microbiennes est effectuée suivant la méthodologie décrite par Bully et Reisinger (1994). Le matériel microbien provient d'un sol contaminé « par erreur » ou il est obtenu en présence de doses connues de PCB. Il est traité suivant la méthodologie classique après double fixation (glutaraldéhyde et OsO_4). Les coupes fines obtenues à l'aide d'un couteau de diamant sont observées directement ou sont d'abord contrastées au citrate de plomb (Reynolds, 1963) ou suivant la technique de mise en évidence des polyosides (Thiery, 1967).

Dosages chimiques

À l'exception des PCB, les dosages chimiques sont effectués par deux laboratoires extérieurs.

Efficacité de la libération et bilan de transfert

Dans le cas des saprophytes :

— la technique consiste à soumettre dans une toile à bluter des tissus végétaux contaminés à l'action d'un ou plusieurs microorganismes ensemencés dans le milieu liquide. Les métaux libérés sont dosés après incubation, suivie de centrifugation, dans le surnageant et dans les cellules microbiennes (culot).

Dans le cas des parasites obligatoires

— le bilan de transfert est évalué par la comparaison des taux des métaux dans le sens « sol-plantes-propagules du parasite ».

Seuil de tolérance

La recherche des souches résistantes et la détermination des seuils de tolérance sont réalisées à l'aide des techniques habituelles. (Techniques des puits, des stries, des doses croissantes de métaux dans les milieux, pesées du matériel fongique obtenu en milieu liquide, etc.).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Distribution quantitative des UFC (site pollué et non pollué).

Nous avons réuni dans la figure 1 les données moyennes de deux années (septembre 1995 et 1996) recueillies sur deux sites, situés en Europe Centrale. Le site pollué (P) représente en réalité un dépôt « oublié » du pays, additionné de déchets étrangers. La zone témoin (N) comparable est une ancienne carrière distante de 21 km. Les deux structures résultent d'une excavation étagée de 2-7 m de profondeur. Les prélèvements sont effectués de 50 en 50 cm du bas vers le haut. (1P à 5P pour la zone polluée et 1N à 5N pour la zone non polluée). Les valeurs représentent la moyenne de 5 répétitions effectuées à des points éloignés de 2 m en 2 m et situés sur une même ligne. L'analyse des valeurs montre l'existence de deux concentrations élevées en propagules fongiques situées respectivement au niveau 1 (1N et 1P = 50 cm du sol) et au niveau 5 (5N et 5P = 2,50 cm du sol). Le niveau 1 correspond au creux des sites et le 5 à l'étage supérieur où dans la décharge, les résidus ont été couverts de terre, et. où apparaît déjà une végétation naturelle. Cette dernière, composée essentiellement d'une Graminée, concentre un taux très élevé de métaux, notamment du Cr, Zn, Ni, As, Co, etc. Elle est également associée à une flore fongique particulière dont l'analyse est en cours.

On notera également que dans les cas extrêmes (niveau 1 et 5), la charge fongique est plus élevée dans l'air de la zone polluée (P) que celle notée dans l'espace naturel (N).

La différence signalée pour le niveau 1 est sans doute due à « l'effet creux » créé par les vents dominants descendants. Celle des zones polluées est l'image d'une plus grande quantité de propagules fongiques formées à cause de la pollution. Cette flore reste cependant qualitativement plus pauvre que celle de la zone exempte de polluants (fig. 2). Elle contient donc des espèces et des souches résistantes sélectionnées naturellement. Nous possédons actuellement 67 isolats dont certains, en plus de leur seuil de tolérance élevé, concentrent des doses inhabituelles de métaux. Tel est le cas d'*Aureobasidium pullulans* (De Bary) Arnaud apte à emmagasiner dans des conditions expérimentales 12 fois plus de Ni que les souches sauvages de référence. Le seuil de tolérance d'une subculture de *Cladosporium sp.* probablement *herburum*, obtenue par sélection, est de 40 mg/l de NiCl₂ alors que celui des isolats habituels n'est que 5 mg/l en milieu liquide. Ces microorganismes représentent un matériel de choix pour la confection des filtres industriels performants.

Transfert des métaux. Sol non pollué-plante-parasite obligatoire

Pour illustrer ce type de transfert de polluants du sol vers l'ensemble de l'écosystème via les propagules fongiques et l'air, nous avons retenu le couple Maïs — *Uromyces maydis* (DC) Corda. Le site a été choisi au hasard sur le seul critère d'abondance des plantes atteintes durant les années 1993 et 1994. La culture n'a donc subi aucun traitement particulier.

Les résultats des dosages effectués sont réunis dans la figure 3.

Le taux de métaux du sol est inférieur aux normes (No) hollandaises. La seule augmentation notable de la concentration intéresse seulement les jeunes plantules. Même les données cumulées pour l'ensemble du végétal restent inférieures à celles du sol en mg/kg. À première vue la quantité de métaux pouvant être exportés par les chlamydosporos semble insignifiante. Soulignons cependant que l'invasion fongique des tissus par ce parasite est restreinte à une fraction d'organe. Un épi de maïs d'environ 200 gr contient 3 mg de Cu et 0,025 mg de Ni., l'ensemble de chlamydosporos récoltées à la place de cet épi

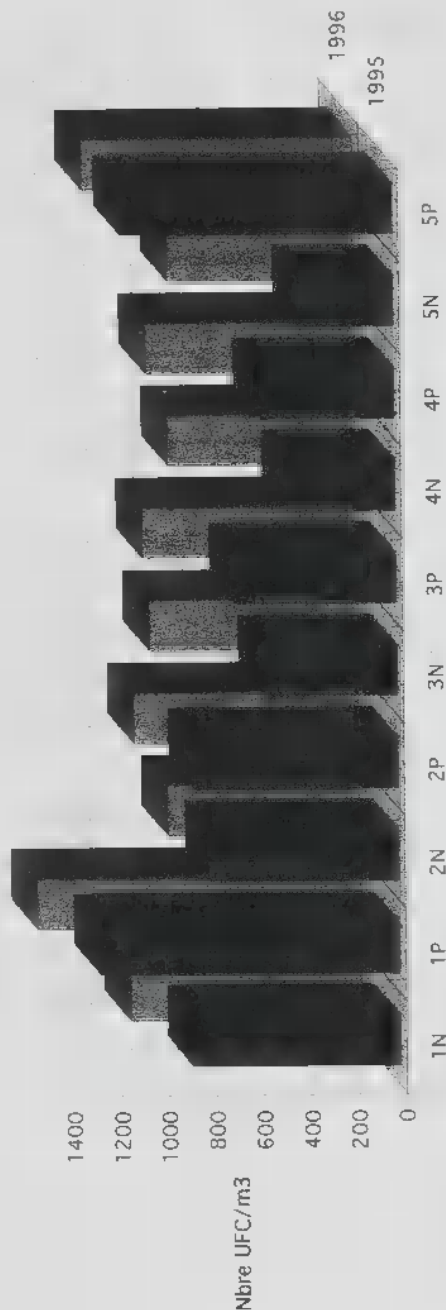


Fig. 1. — Aérocollecteur (AIRTEST). Distribution quantitative des UFC de l'air. Site pollué (P) et site non pollué (N). 5 hauteurs de prélèvements (de 0,5 en 0,5 m du bas vers le haut), numérotées de 1 à 5. Valeurs moyennes de 5 répétitions simultanées sur des points éloignés de 2 m. Septembre 1995 et 1996.

Fig. 1. — Aérocollecteur (AIRTEST). Quantitative distribution of CFUs (Colony Forming Units). Sites: P (polluted) and N (no polluted). 5 sampling heights (5 to 2.5 from bottom to top) numbered from 1 to 5. Mean values of 5 simultaneous replicates, on points distant by 2 m. September 1995 and 1996.

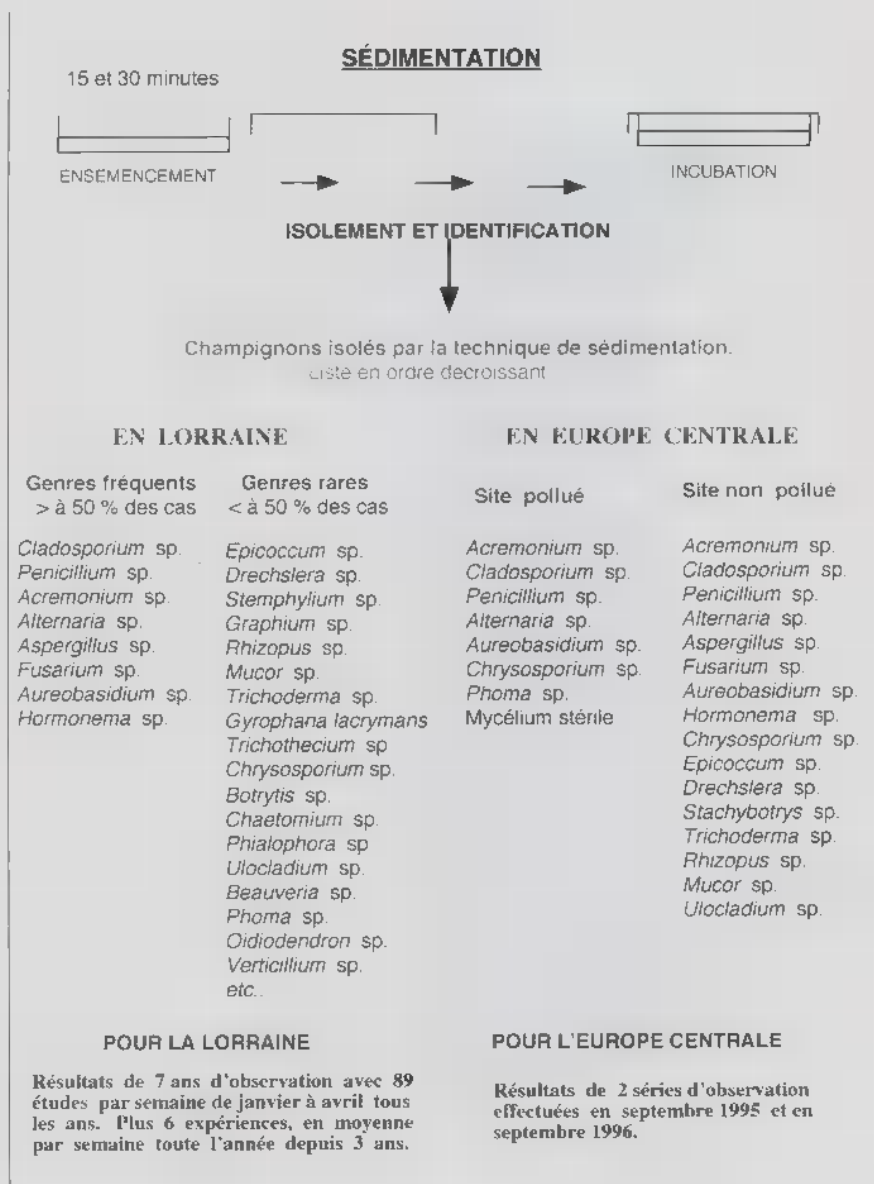


Fig. 2. — Sédimentation et culture. Flore fongique identifiée à partir des UFC de l'air des locaux en Lorraine et de l'air des sites de la figure 1.

Fig. 2. — Sedimentation and culture. Fungal flora identified from CFUs in air in Lorraine and in air of sites in Figure 1.

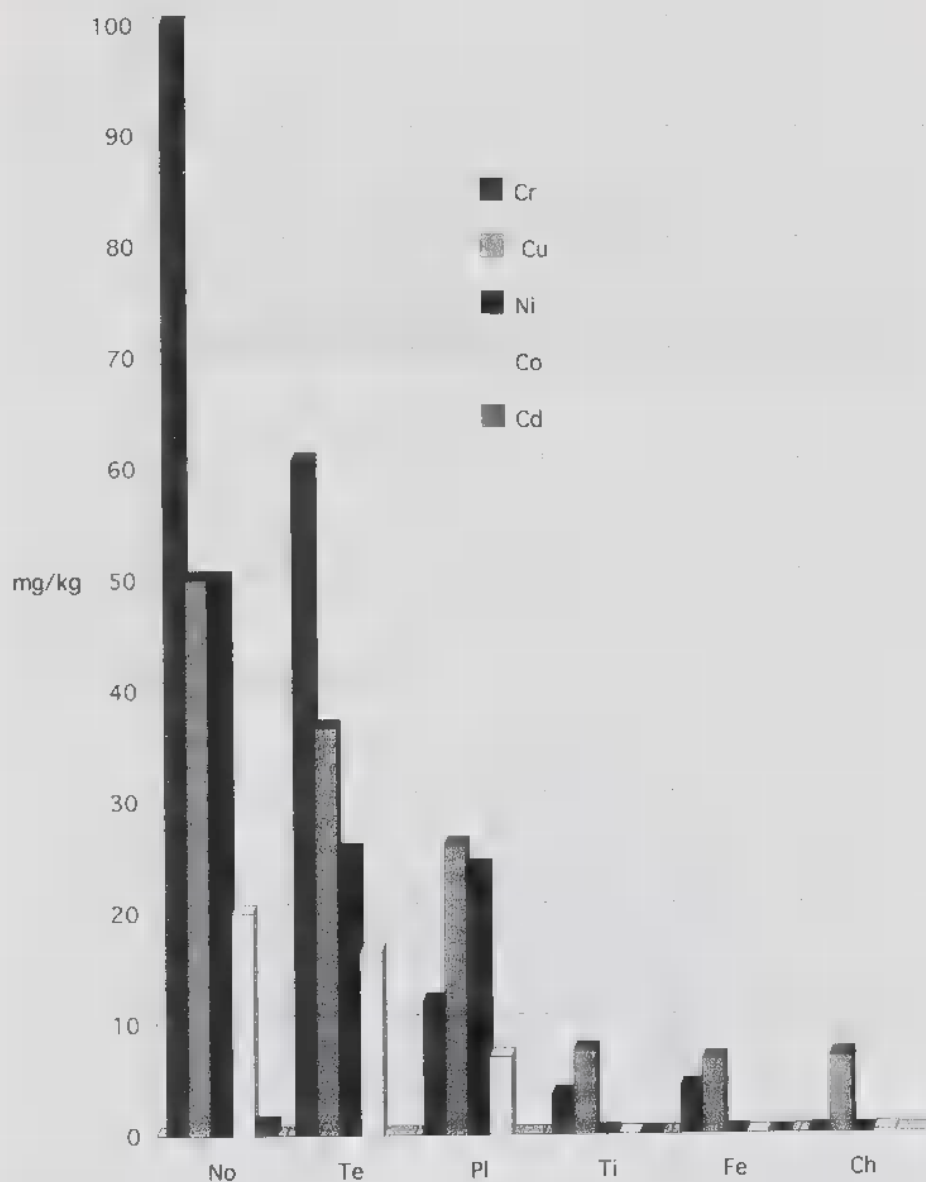


Fig. 3. — Charbon du maïs. En grande culture Transfert des métaux : sol-plante-parasite (*Uromyces maydis*).

(Ch=chlamydospores du parasite, Fe=feuilles, Ti=tiges (fin de végétation), Pl=plantules (40cm), Te=terre, No=normes).

Fig. 3. — In large-scale culture. Transfer of metals : soil-plant-parasite (*Uromyces maydis*).

(Ch = parasite chlamydospores, Fe = leaves, Ti = stem (end of growth), Pl = plantlets (40 cm), Te = soil, No = standard).

moyen (pour le champ étudié) est de 150 gr lors des infections précoces. Cette masse contient 1,4 mg de Cu et 0,02 mg de Ni. Les erreurs d'évaluation mises à part, il apparaît clairement que les chlamydospores contiennent à la place de l'épi, la quasi totalité des métaux cités qui deviennent ainsi exportables par voie aérienne. Nous reviendrons par ailleurs sur la signification possible de ce type de calculs. Pour d'autres métaux et plantes, la situation est variable. Ainsi les plantules de maïs ont un taux 3 fois supérieur à celui du sol en Se et Mo (Biro & Szilikovacs, comm. pers.). Par contre, toujours selon les mêmes auteurs, l'accumulation du Cd, Zn et Ni reste inférieure dans les mêmes plantules par rapport au taux relevé dans le sol. Nos résultats sont donc conformes à ceux des auteurs cités.

Transfert des métaux. Sol surchargé en polluants (cas d'*Ambrosia elatior*)

Le biotope étudié ici est une décharge industrielle dont le sol (boue) contient des taux inhabituellement élevés (même pour une décharge) de différents métaux. La végétation est dominée par *A. elatior* qui représente sur tous les sites semblables de la région la plante la plus tolérante.

La figure 4 réunit les données recueillies depuis 2 ans avec 2 prélèvements par an : l'un effectué au mois d'août et l'autre au mois d'octobre. Pour équilibrer et rendre lisible le diagramme, nous avons divisé les valeurs des analyses du sol (Bu) par 10. Mêmes représentées ainsi, ces valeurs dépassent largement le taux « légal » des pays d'Europe Centrale.

Les résultats montrent que la concentration des métaux dans les différents types d'organes (racines = R, tiges = T, F = fleurs, P = pollens) augmente avec l'âge. Elle est souvent plus importante que le seuil de tolérance réglementaire (No) du sol.

Les grains de pollen, redoutables allergènes, contiennent également une charge notable. Ils constituent la fraction la plus disséminée de la plante. Cette dernière est réputée pour sa résistance aux parasites et ravageurs. Les grains de pollen portent cependant, dès leur libération, une microflore associée pauvre, constituée par des bactéries et des champignons. L'isolement, la caractérisation, l'évaluation quantitative et l'étude du comportement envers les métaux de ces microorganismes sont actuellement à l'étude.

Le cas d'*A. elatior* a été étudié en priorité à cause des besoins locaux de la Santé Publique. Le pays subit, en effet, depuis quelques années l'invasion de ce végétal du Sud vers le Nord. Parallèlement on enregistre une augmentation du nombre de consultations dans les Services Allergologie-Pneumologie des hôpitaux. L'apparition du pollen de cette plante, nouvel allergène pour la population autochtone, n'explique cependant pas dans tous les cas l'importance de l'augmentation numérique des symptômes enregistrés par les médecins. Le fait que les premières bases de l'installation de la plante sont des décharges et des terrains d'aviation ou industriels abandonnés justifie le développement des enquêtes axées sur ce problème.

L'efficacité de libération

Pour évaluer l'efficacité de la libération des métaux par action de la flore microbienne, nous avons utilisé des radis contaminés expérimentalement par le Ni, au-delà du taux normalement accepté pour les sols (50 mg/kg). Des lots de concentration différents en Ni servent en mélange pour l'obtention des tissus dont le taux du métal est ensuite déterminé. Cette démarche critiquable, respecte l'hétérogénéité habituelle de la nature où n'existe pas une contamination individuelle homogène. Elle impose cependant le

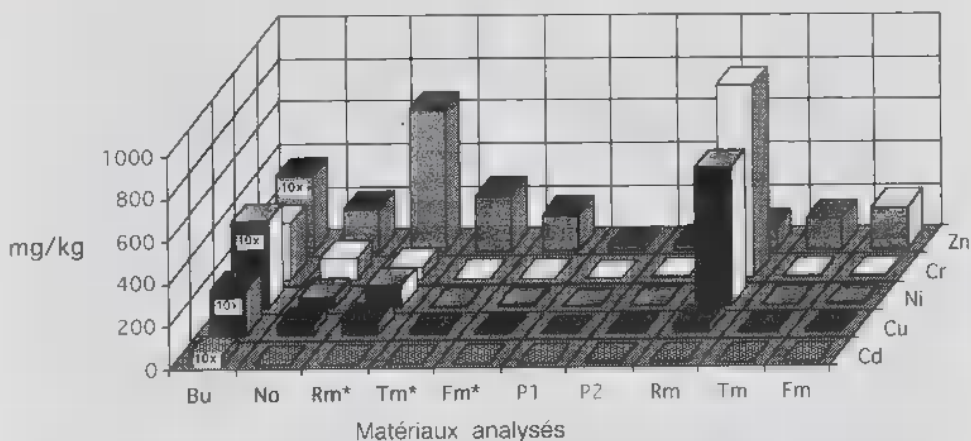


Fig. 4. — *Ambrosia elatior*. Prélèvements sur le terrain. Transfert des métaux : Sol (boue = Bu) — racines (R) — tiges (T) — fleurs (F) — pollens (P1 = pollen jeune, P2 = pollen âgé). m* = récolte au mois d'août, m = récolte au mois d'octobre.
Moyenne de 2 séries d'analyses.

Fig. 4. — *Ambrosia elatior*. Field samplings, Transfer of metals : Soils (Bu) — roots (R) — stems (T) — flowers (F) — pollens (P1 = young pollen, P2 = old pollen). m* = sampling in August, m = sampling in October.
Means of 2 series of analyses.

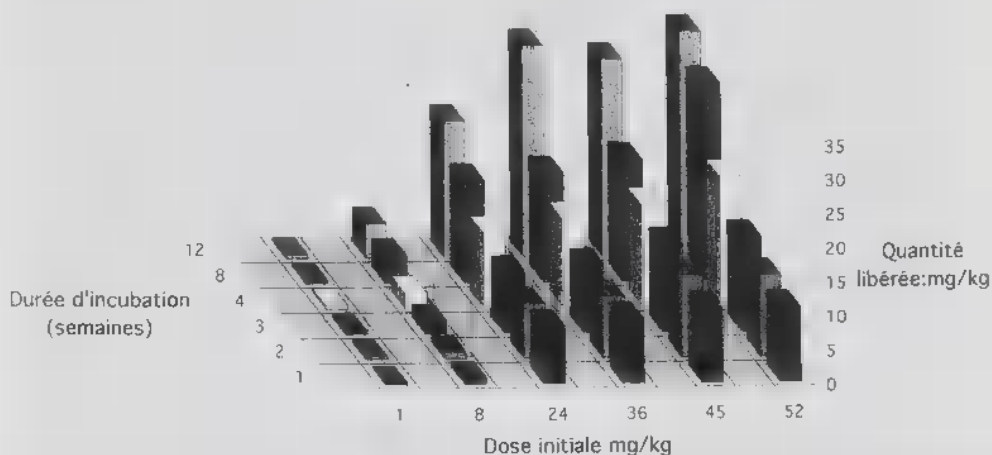


Fig. 5. — Expérimentation au laboratoire. Libération du Ni des tissus végétaux (radis) par biodégradation. Inoculation par des souches industrielles (brevet : Bully et Reisinger n° 9016248). Stérilisation à l'oxyde de propylène. Cultures stationnaires (témoin = 1mg/kg). Données non cumulées. Ni libéré est dosé dans le surnageant et dans les corps microbiens.

Fig. 5. — Laboratory experiment. Liberation of Ni from plant tissues (radish) by biodegradation. Inoculation by industrial strains (Patent : Bully et Reisinger n° 9016248). Sterilization with propylene oxide. Stationary cultures (control = 1mg/kg). No cumulate data. Liberated Ni is titrated in supernatant and in microbial bodies.

fractionnement des tissus dont la première conséquence est l'accélération des processus lytiques.

Le milieu liquide à base d'extrait de malt (0,1 %) et de traces d'extrait de levure est inoculé 24 heures avant l'immersion du matériel végétal. L'inoculum est un mélange de microorganismes réalisé pour les besoins de la dépollution industrielle (Bully & Reisinger, 1990). Il contient des bactéries et des champignons aptes à tolérer ou à prendre en charge divers contaminants, même organiques tels que les PCB.

Le dosage du Ni libéré dans le surnageant est réalisé 3 fois par semaine durant 3 mois. Les résultats obtenus (fig. 5), contenant également le Ni libéré spontanément, montrent peu de changement durant les 3 premières semaines et une accélération de la quantité de Ni libéré de la 4^e à la 9^e semaine. À ce stade, le matériel végétal est presque totalement décomposé et le taux de métal libéré reste constant durant les périodes suivantes. C'est à ce moment que l'on note également la stabilisation du taux du Ni (7-8 mg/l) dans la fraction fongique. Cette dernière, facile à récupérer, est la seule fraction microbienne analysée.

Localisation ultrastructurale des PCB dans les cellules microbiennes

Les PCB, produits de synthèse très toxiques, peuvent être métabolisés ou immobilisés par certains microorganismes. Dans le premier cas, l'efficacité de la métabolisation est inversement proportionnelle au nombre de chlores de la molécule (Furakawa *et al.*, 1979). Dans le second, la bioimmobilisation, les produits mêmes très chlorés, donc non biodégradables, peuvent être neutralisés, au moins en partie, par une large fraction de la microflore (Bullyt, 1991).

La réglementation actuelle concernant les PCB dans les milieux naturels est extrêmement sévère. Afin de pouvoir détecter ces produits masqués ou présents en faible quantité, nous avons utilisé la méthode proposée par Bully et Reisinger (1994).

Planche 1 : **1** : Colonies bactériennes dans un sol pollué par les PCB. Souches résistantes (**R**). Les cellules vides de la souche sensible contiennent des granules denses aux électrons associés à des membranes ou situés généralement en position pariétale. Contraste : citrate de plomb. X = 12 000. **2** : Même échantillon que pour 1. Structures membranaires et résidus de paroi microbienne. Noter l'absence des granules denses aux électrons. Contraste : Mise en évidence des substances de nature polysidique. X = 16 000. **3** : Débris de paroi fongique et produits denses aux électrons. Noter la présence de granulations de petite taille, denses aux électrons, situées dans l'[SA]enveloppe cellulaire. Contraste : citrate de plomb. X = 24 000. **4** : Granules denses aux électrons associés à des produits structurés, probablement résidus de parois bactériennes. Contraste : citrate de plomb. X = 31 000. **5** : Paroi fongique obtenue en culture liquide dépourvu de PCB. Contraste : Mise en évidence des substances de nature polysidiques. X = 18 000

Plate 1 : **1** : Bacterial colonies in a soil polluted by PCBs. Resistant strains (**R**). Empty cells of the sensitive strain contain electron-dense granules associated with membranes or generally situated in parietal position. Contrast : Lead citrate. X = 1 200. **2** : Same sample as in Fig. 1. Membranous structures and remains of microbial wall. Note the absence of electron-dense granules. Contrast : for polyosidic substances. X = 1 600. **3** : Remains of fungal wall and electron-dense products. Note the presence of small, electron-dense granules, in the cell envelope. Contrast : Lead citrate. X = 24 000. **4** : Electron-dense granules associated with structured substances probably bacterial wall remains. Contrast : Lead citrate. X = 31 000. **5** : Fungal wall obtained in liquid culture medium without PCBs. Contrast : for polyosidic substances. X = 18 000

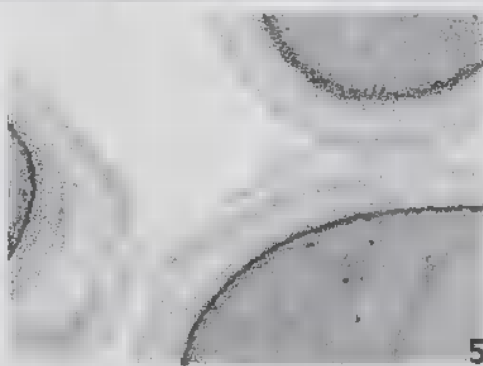
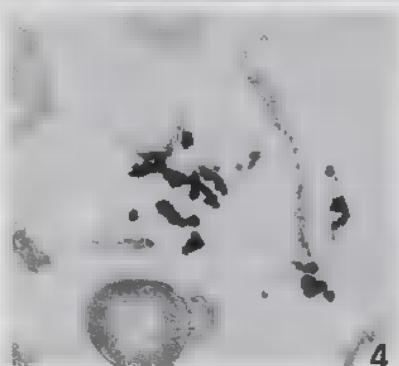
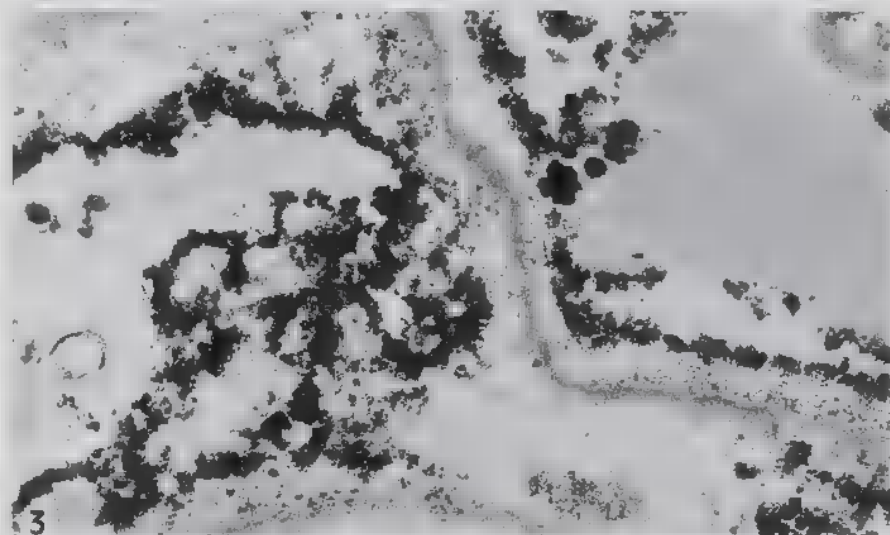
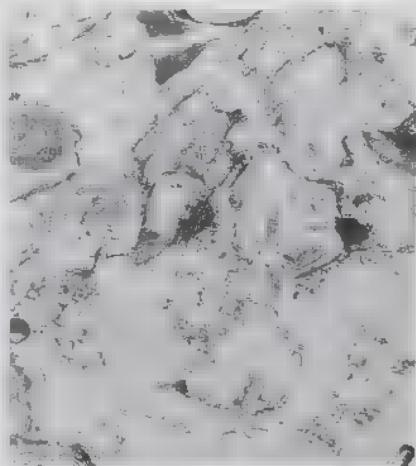
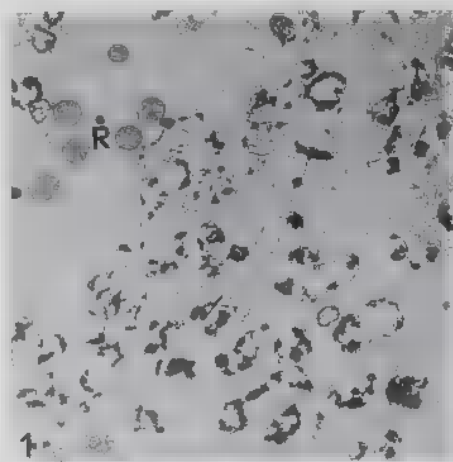


PLANCHE I

Les examens ultrastructuraux au Microscope Électronique à Transmission (MET) révèlent dans les échantillons contenant des PCB des granules denses aux électrons de taille et de forme variable (Planche I, figures 1, 3 et 4). Ces granules présents sur des coupes non contrastées ou contrastées au citrate de plomb font défaut dans les témoins (Planche I, fig. 5) et sur les sections ultrafines, soumises à la technique de mise en évidence des polysides (Planche I, fig. 2). La détection des PCB par chromatographie à chacune des étapes de la méthode de Thiery sur un matériel identique montre que l'agent responsable de l'extraction est le thiocarbohydrazide. L'utilisation de ce dernier améliore d'ailleurs de manière notable la sensibilité des analyses chimiques. Les données rapportées ci-dessus démontrent de nouveau et clairement que les granules observés au MET représentent bien les PCB ou au moins une fraction de ceux-ci.

D'autres images telles que celle de la figure 3 de la Planche I, permettent de montrer la migration de ces granules à travers la paroi et leur fractionnement à l'intérieur de celle-ci ou dans le cytoplasme. Cette migration, condition essentielle de la réussite de la bioimmobilisation est possible grâce à l'existence de « puits » de structure chimique différente dans l'enveloppe cellulaire (Reisinger *et al.*, 1977). C'est en se basant sur la nature lipophile des PCB et sur la quantité de lipides pariétaux de quelques germes que nous avons effectué un premier choix de microorganismes actuellement expérimentés en tant que biocapteurs et bioindicateurs.

La sensibilité de cette méthode bien que longue et coûteuse garantit la démonstration indiscutable de la présence des PCB, strictement prohibés dans certains milieux.

CONCLUSIONS

Malgré la multiplicité des techniques employées rapportées ou non ici nous rencontrons beaucoup de difficultés pour situer et discuter la valeur de nos résultats. La cause principale en est bien entendu l'absence de travaux semblables donc de données bibliographiques cohérentes. À ceci s'ajoute le manque d'une législation précise ou variable d'un pays à l'autre rendant impossible la détermination du taux où commence la notion « légale » de la pollution. Nos données doivent donc être manipulées avec beaucoup de prudence. Ainsi nous avons effectué et à titre uniquement indicatif une évaluation des métaux dans les chlamydospores de *Ustilago maydis* obtenues à partir d'une culture de maïs absolument normal, excepté bien entendu sa forte contamination par le parasite fongique. Les propagules contiennent donc des métaux. Sont-elles pour autant plus dangereuses que celles qui en contiennent moins ou plus ?

Nous pouvons cependant accepter définitivement, comme prévu d'ailleurs, que l'exportation des métaux ou des polluants organiques est réalisée régulièrement par voie aérienne via les propagules d'origine végétale et microbienne. Il en est de même pour les éléments de la microfaune qui peuvent prélever ces organes ou d'autres par choix trophique (microarthropodes mycophages par exemple) et les transporter dans leur tractus digestif ou simplement par adhésion mécanique sur leur corps.

Dans un premier temps et schématiquement, ces facteurs réalisent une dispersion des matériaux étudiés dans l'espace environnant. Des concentrations inhabituelles de ces organes, donc des métaux ou des polluants, peuvent ensuite intervenir dans les pelotes fécales ou dans les tractus respiratoires des animaux autochtones, donc souvent à des niveaux où la notion « dose-effet » perd sa signification. Des études et des enquêtes sont prévues pour tenter de préciser les modifications induites dans l'environnement, par la qualité et la quantité de cette nouvelle génération de propagules.

L'existence d'une réglementation plus précise rend cependant le cas des PCB quelque peu différent. Ces substances sont considérées dans certains milieux (l'eau par exemple) comme très dangereuses même en concentration faible. Leur présence dans et/ou sur certaines cellules microbiennes est démontrée avec certitude. Comme les propagules non modifiées, ces cellules sont donc susceptibles d'être disséminées par voie aérienne. La réalité de cette dissémination n'est pas encore expérimentalement démontrée, mais aucune raison logique ne s'oppose à cette éventualité.

BIBLIOGRAPHIE

- AL MAHMOOD S., GIUMMELY P. & BONALY R., 1987 — Structural modifications of mannans during flocculation of *Kluyveromyces fragilis*. *Applied microbiology and biotechnology* 26 : 462-467.
- BARTNICKI-GARCIA S. 1968 — Cell wall chemistry, morphogenesis and taxonomy of fungi. *Annual review of microbiology* 22 : 87-108.
- BARTNICKI-GARCIA S. & LIPPMAN E., 1982 — *Fungal cell wall composition*. CRC Handbook of Microbiology IV : 229-252.
- BONALY R. & REISINGER O., 1971 — Études des modifications chimiques et ultrastructurales de la paroi de trois levures du genre *Rhodotorula* cultivées sur deux milieux différents. *Comptes rendus académie des sciences, D, Paris* 272 : 2309-2312.
- BULLY F., 1991 — *Traitement par voie biologique de composés toxiques contaminant les milieux naturels*. Thèse de Doctorat. Université de Nancy I, 155 pp.
- BULLY F. & REISINGER O., 1990 — *Composition pour la décontamination des sols pollués. Procédé et dispositif pour l'utilisation de cette composition*. Brevet, E.M.C., SERVICES, N° 493248, EP.
- BULLY F. & REISINGER O., 1994 — Relations des polychlorobiphényles (PCBs) avec des microorganismes. Mise en évidence et évolution ultrastructurale. in Balázsy & Reisinger. *Environmental Microbiology*, 117-124.
- MBAWALA A., AL MAHMOOD S., LOPPINET V. & BONALY R., 1990 — Acetolysis and ¹H NMR studies on mannans isolated from very flocculent and weakly flocculent cells of *Pichia pastoris* IFP 206. *Journal of general microbiology* 136 : 1279-1284.
- MONERET-VAUTRIN D.A., 1997 — Les allergènes alimentaires et leurs modifications par les technologies agro-alimentaires. *Cahiers d'agriculture* 6 : 21-29.
- REISINGER O., KIFFER E., MANGENOT F. & OLAH G.M., 1977 — Ultrastructure, cytochimie et microdissection enzymatique de la paroi des hyphes et des propagules exogènes des Ascomycètes et Basidiomycètes. *Revue de mycologie* 41 : 91-117.
- REYNOLDS E.S., 1963 — The use of lead citrate at high pH as an electron opaque stain in electron microscopy. *Journal of cell biology* 17 : 208-212.
- THIERY J.P., 1967 — Mise en évidence des polysaccharides sur coupes fines en microscopie électronique. *Journal de microscopie* 6 : 987-1017.
- ZAAMOUN S., TRAN THI, REISINGER O., GUIRAUD J.P., FONTANA A. & BONALY R., 1995. — Influence of aeration and (rho^o) mutation on the structure of the cell walls of *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces diastaticus*. *Mycological research* 99 : 492-500.